

УДК 666.97.035.56

**О.П. КОЛІСНИК**, Вінницький національний технічний університет

## **ПРОЦЕСИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПРИ ТЕПЛОВІЙ ОБРОБЦІ БЕТОННИХ ВИРОБІВ**

Проаналізовано вітчизняний виробничий досвід тепловологісної обробки бетонних виробів. Розглянуто питання тепло- та масообміну при тепловій обробці бетонних виробів в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу. Наведено схему взаємодії теплових потоків які створюються в пропарювальній камері.

Domestic production experience of heat treatment of concrete wares is analyzed. A question heat- and mass-transfer at thermal treatment of concrete wares in a pair chamber with the aerodynamic heater of ring-type is considered. The chart of co-operation of thermal streams is resulted which are created in a pair chamber.

**Постановка проблеми.** З метою скорочення термінів розпалубки бетонних виробів будівельники завжди прагнули прискорити тверднення бетону. Це питання особливо актуальне при виготовленні бетонних виробів в заводських умовах, оскільки підприємства зацікавлені в максимальному використанні виробничих площ і в скороченні термінів виготовлення виробів.

**Аналіз досліджень.** В результаті проведених досліджень відомих публікацій [1 – 8] було з'ясовано, що в наш час теплова обробка бетонних виробів здійснюється в установках, які мають різні конструктивні особливості. Конструктивне виконання розглянутих установок потребує великих витрат на влаштування допоміжного обладнання (котельні і комунікації). Зважаючи на великі витрати на влаштування допоміжного обладнання доцільно замінити котельню і комунікації на джерело пароутворення безпосередньо в установці.

**Постановка задачі.** Ефективною альтернативою у тепловій обробці будівельних матеріалів є застосування новітньої технології аеродинамічного нагріву [9]. Поставлена задача дослідження процесів тепломасообміну при тепловій обробці бетонних виробів в установці з аеродинамічним нагрівачем. Дослідження даних процесів сприятимуть вдосконаленню запропонованої технології, шляхом підбору і оптимізації основних параметрів технологічного процесу та його окремих операцій, що забезпечать підвищення енергоефективності пропарювальної камери в цілому.

**Виклад основного матеріалу.** Суть теплового способу обробки бетонних виробів полягає в тому, що при підвищених відносній вологості навколишнього середовища (більше 95 %) та температурі (60 – 100 °C і більше) швидкість реакції гідратації цементу збільшується (у 10 – 20 разів), процес тверднення бетону прискорюється, і вироби в коротший термін набувають міцність, необхідну для їх розформування, транспортування і монтажу.

Альтернативою розглянутим технологіям може стати застосування нової технології аеродинамічного нагріву [9, 10], згідно якої, основний теплогенеруючий пристрій – аеродинамічний нагрівач роторного типу здійснює безперервну рециркуляцію повітряного потоку і внаслідок аеродинамічних втрат в ньому відбувається постійний нагрів повітряного середовища у замкненому просторі теплоізольованої робочої камери. Нагрівальні установки з аеродинамічним нагрівом роторного типу не потребують рідкого або газоподібного палива та дорогих електричних нагрівачів. Металеві частини конструкції установки нагріваються рівномірно по всьому об'єму робочої камери. Передача тепла відбувається за рахунок конвективного теплообміну, що забезпечує рівномірність нагріву. В установках з замкнутим контуром для потоку повітря та аеродинамічним нагрівом відсутня небезпека ураження струмом обслуговуючого персоналу або вибуху. Установки можливо повністю автоматизувати.

Температура нагріву потоку повітря на величину  $Dt$ , згідно [11], поданого від аеродинамічного нагрівача роторного типу (в разі відсутності теплообміну з навколишнім середовищем), визначається корисно спожитою аеродинамічним нагрівачем (з потужністю приводу  $N$ ) енергією, подачею повітря в замкнутий об'єм пропарювальної камери  $Q^II$ , густиною повітря  $r_n$ , теплоємністю повітря  $c_n$  і може бути обчислена за формулою:

$$Dt = N / (Q^II \cdot r_n \cdot c_n). \quad (1)$$

В свою чергу, потужність, яка споживається аеродинамічним нагрівачем роторного типу, залежить від його конструкції, діаметру, частоти обертання.

Розглядаючи робочий процес теплової обробки будівельних виробів в пропарювальній камері із аеродинамічним нагрівом було прийнято наступні припущення, запроновані нами у роботі [10]. Враховуючи дані припущення пропарювальна камера розглядається як складна система, взаємодія підсис-

тем якої між собою та з підсистемами зовнішнього середовища зображено на рисунку 1.

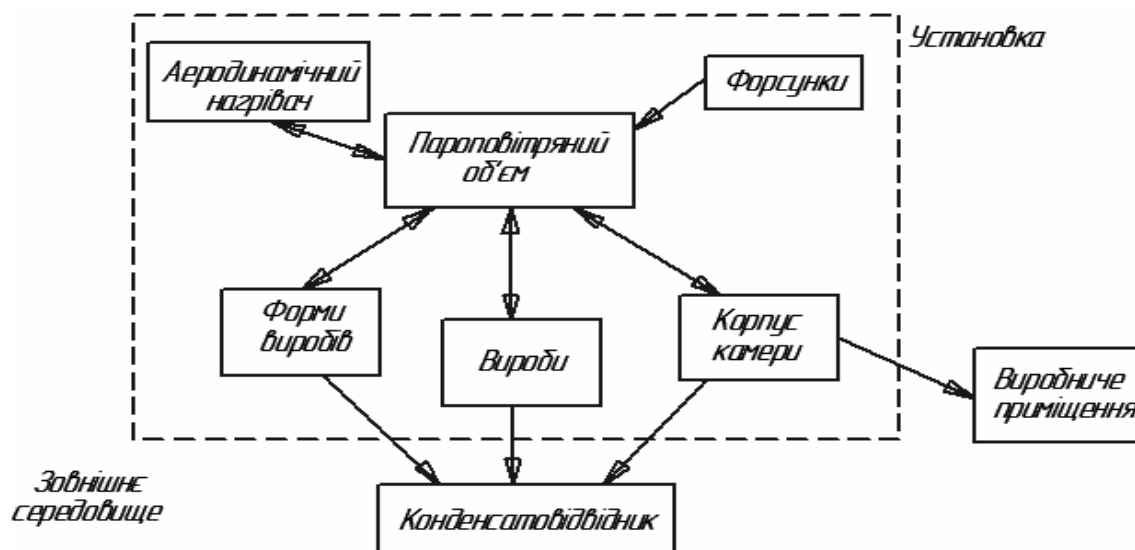


Рис. 1. Схема взаємодії теплових потоків в системі

Пароповітряний об'єм у просторі пропарювальної камери утворюється в результаті нагріву повітряного середовища за допомогою аеродинамічного нагрівача та води, яка подається через форсунки. Потік гарячого та вологого повітря здійснює рециркуляцію, під час якої відбувається передача тепло металоконструкції корпусу камери, формам виробів та рівномірно розігріває вироби. Залежно від різниці температур між пароповітряним об'ємом камери і зовнішньою поверхнею форм, пароповітряна суміш може нагрівати або охолоджувати поверхню форм. Залежно від параметрів пароповітряного середовища і температури відкритої поверхні виробів, вільна волога, яка міститься в бетоні, може випаровуватись з поверхні виробів або конденсуватись на відкритій поверхні бетону (взаємодія між пароповітряним об'ємом і виробами). Частина тепла пароповітряного об'єму втрачається під час видалення конденсату через конденсатовідвідник, а також за рахунок тепловтрат через корпус камери. Під час охолодження частина енергії може бути вилучена за рахунок тепломасообміну в утилізаторі теплової енергії і використана на нагрівання води необхідної для подальшого створення пароповітряного середовища в робочій камері та додаткового зволоження виробів.

В загальному випадку повна енергія газу складається з його внутрішньої енергії (ентальпії) та роботи, яка здійснюється зі зміною його об'єму. Оскільки, вільний об'єм камери практично залишається незмінним під час теплової

обробки, тому зміна повної внутрішньої енергії пароповітряної суміші в установці буде приблизно дорівнювати зміні її ентальпії.

Таким чином, баланс енергії для пароповітряного об'єму пропарювальної камери з аеродинамічним нагрівачем можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{d(h^y \cdot M^y)}{dt} = Q^{\dot{I}} + Q^{\dot{Ai} \ddot{ae}} - Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{O}} - Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{A}} - Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{E}} - Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{E} \ddot{A}}, \quad t > 0 \quad (2)$$

$$h^y \cdot M^y = h_0^y \cdot M_0^y, \quad t = 0$$

де  $h_0^y$ ,  $M_0^y$  – початкове значення відповідно ентальпії та маси пароповітряної суміші у вільному об'ємі установки;  $Q^{\dot{I}} = G^{\dot{I}} \cdot h^{\dot{I}}$  – тепловиділення потоку повітря, який надходить від аеродинамічного нагрівача, Дж/с;  $Q^{\dot{Ai} \ddot{ae}} = G^{\dot{ai} \ddot{ae}} \cdot h^{\dot{ai} \ddot{ae}}$  – кількість теплоти, що вноситься в систему разом із розпиленою водою; Дж/с;  $G^{\dot{I}}$ ,  $G^{\text{води}}$  – витрата повітря та води, кг/с;  $h^{\dot{I}}$ ,  $h^{\text{води}}$  – питома ентальпія відповідно повітря і води, Дж/кг;  $Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{O}} = S^{\dot{O}} \cdot q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{O}}$  – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу формам виробів, Дж/кг;  $Q_{\text{заг}}^B = Q_{\text{заг}}^{B\phi} + Q_{\text{заг}}^{Bн}$  – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу верхній і нижній поверхні виробу ( $Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{A} \ddot{a}} = S^{\dot{A} \ddot{a}} \cdot q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{A} \ddot{a}}$ ,  $Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{Ai}} = S^{\dot{Ai}} \cdot q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{Ai}}$ ), Дж/с;  $Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{E}} = S^{\dot{E}} \cdot q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{E}}$  – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу корпусу камери, Дж/кг;  $Q_{\dot{\zeta a \ddot{a}}}^{\dot{E} \ddot{A}} = G^{\dot{A} \ddot{a}} \cdot h^{\dot{A} \ddot{a}} + G^{\dot{Ai}} \cdot h^{\dot{Ai}} + G^{\dot{O}} \cdot h^{\dot{O}} + G^{\dot{E}} \cdot h^{\dot{E}}$  – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу конденсату, Дж/кг;  $h^{\dot{I}}$ ,  $h^{B\phi}$ ,  $h^{Bн}$ ,  $h^{\phi}$ ,  $h^K$  – питома ентальпія відповідно технологічної пари, повітря у виробничому приміщенні, а також конденсату який утворюється відповідно на верхній і нижній поверхні виробів, формах та корпусі камери, Дж/кг;  $G^{B\phi}$ ,  $G^{Bн}$ ,  $G^{\phi}$ ,  $G^K$  – маса пари, яка конденсується за одиницю часу відповідно на верхній і нижній поверхні виробів, формах і корпусі камери, кг/с;  $S^{\phi}$ ,  $S^{B\phi}$ ,  $S^{Bн}$ ,  $S^K$  – площа теплосприймальної поверхні відповідно форм, верхньої і нижньої частини виробів, камери, м<sup>2</sup>.

Після перетворень та з врахуванням вище викладеного рівняння (2) матиме вигляд:

$$\frac{d(h^y \cdot M^y)}{dt} = G^{\dot{I}} \cdot h^{\dot{I}} + G^{\hat{a}\hat{i}\hat{a}\hat{e}} \cdot h^{\hat{a}\hat{i}\hat{a}\hat{e}} + (G^{\hat{A}\hat{a}} - G^{\hat{A}\hat{i}})h^{\hat{A}\hat{a}} - \\ - (G^{\hat{A}\hat{a}} \cdot h^{\hat{A}\hat{a}} + G^{\hat{A}\hat{i}} \cdot h^{\hat{A}\hat{i}} + G^{\hat{O}} \cdot h^{\hat{O}} + G^{\hat{E}} \cdot h^{\hat{E}}) - Q_{\hat{c}\hat{a}\hat{a}}^{\hat{O}} - Q_{\hat{c}\hat{a}\hat{a}}^{\hat{E}}, \quad t > 0 \quad (3)$$

$$h^y \cdot M^y = h_0^y \cdot M_0^y, \quad t = 0$$

Дослідження математичної моделі теплового балансу пароповітряного об'єму пропарювальної камери, згідно рівняння (3), надає можливість більш якісно визначати співвідношення її конструктивних, теплових та режимних параметрів, з метою забезпечення енергозбереження в цілому.

**Висновки.** Вивчення сучасного стану техніки, яка застосовується для виготовлення бетонних виробів, показало, що існуючі установки мають цілий ряд суттєвих недоліків, які полягають у великих питомих енерговитратах, відсутності устаткування для утилізації теплової енергії. Внаслідок цього роботи, що пов'язані із інтенсифікацією процесу теплової обробки і скороченням його тривалості при забезпеченні необхідної якості будівельних виробів є актуальними.

Запропонована технологія теплової обробки бетонних виробів в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу порівняно із традиційними дозволить зменшити енерговитрати на обслуговування допоміжного обладнання, здійснювати регулювання температури, вологості і тиску незалежно один від одного.

**Список літератури:** 1. *Боженов Е.П.* Термогазодинамическая обработка строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.; 2. *С.В. Федосов, С.М. Базанов, М.В. Акулова и др.* Влияние тепловлажностной обработки на эксплуатационные свойства бетона // Изв. вузов Строительство. – 2003. – № 7. – С. 47. 3. *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов, В. П. Долгий* // Изв. вузов Строительство. – 2005. – № 3. – С. 37. 4. Патент 2136635. МКИ 6 С04В40/02, С04В38/08. Способ тепловой обработки полистиролбетонных изделий и конструкций / *Рахманов В.А., Мелихов В.И., Девятков В.В. и др.* – № 97102984/03; Заявлено 26.02.97; Оpubл. 10.09.99, Бюл. № 17. 5. Патент 2028996. МКИ С04В40/02. Способ тепловой обработки изделий из тяжелого бетона / *Дикань С.А., Коришонов М.А., Куприянов Н.Н.* – № 4947604/33; Заявлено 24.06.91; Оpubл. 20.02.95, Бюл. № 4. 6. Патент 2082701. МКИ С04В40/02, В28В11/24. Способ термовлажностной обработки, преимущественно блочных бетонных изделий / *Шичков А.Н., Гительман Е.Б., Яблоко С.Б. и др.* – № 5067018/03; Заявлено 4.04.92; Оpubл. 27.06.97, Бюл. № 13. 7. Патент 2121468. МКИ С04В40/02, В28В11/24. Способ тепловлажностной обработки строительных материалов с рекуперацией тепла и установка для его осуществления / *Хаимский З.М.* – № 97102075/03; Заявлено 13.02.97; Оpubл. 10.11.98, Бюл. № 21. 8. Патент 2115635. МКИ С04В40/02. Способ термовлажностной обработки известково-кремнеземистых изделий автоклавного твердения / *Цыро В.В.; Секерджицкий М.А.; Потапшиков Ю.М. и др.*

– № 97108261/03; Заявлено 20.05.97; Опубл. 20.07.98, Бюл. № 14. **9.** Патент 18723. МПК В01J 3/04. Автоклавна установка тепловолісної обробки / *Сліпенька О. П., Сторожук С. Б., Коц І. В.* – № u 200605904; Заявлено 29.05.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11. **10.** *Сліпенька О. П., Коц І. В.* Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 5. – С. 93. **12.** *Тевис П.И., Ананьев В.А., Шадек Е.Г.* Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева. – М.: Машиностроение, 1986. – 208 с.

*Надійшла до редколегії 11.09.08*

УДК 666.3.016 : 666.714

**Е.С. ЦИБУЛЬКО**, ООО ЕПК «Братья», м. Одеса, Україна  
**В.В. КОЛЕДА**, канд. техн. наук, **Є.В. АЛЕКСЄЄВ**,  
**О.С. МИХАЙЛЮТА**, канд. техн. наук, ДВНЗ “УДХТУ”,  
м. Дніпропетровськ, Україна

## **КЕРАМІЧНІ МАСИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КЛІНКЕРНОЇ ЦЕГЛИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ СХІДНОЇ УКРАЇНИ**

Представлено результати досліджень сировинних матеріалів Східної України з метою розробки на їх основі складів мас для виготовлення клінкерних виробів. Одержані в результаті роботи керамічні маси після традиційних технологічних операцій – підготовки, пластичного формування та випалу при 1180 °С забезпечують високі значення експлуатаційних показників керамічного матеріалу, тобто, водопоглинання до 4 % та механічну міцність при стисканні більше 40 МПа.

In this article are results of investigations the clay raw materials West Ukraine to elaborate ceramic masses for clinker brick production. The choice of rational compositions masses was carried out. The materials obtained after plastic forming and sintering by temperature 1180 °C has the wateruptake to 4 % and mechanical strength more than 40 MPa.

Останнім часом, завдяки зростанню темпів будівництва в нашій країні, спостерігається підвищення попиту на клінкерну цеглу, оскільки вона характеризується високими експлуатаційними та естетичними властивостями [1 – 3], а саме – відрізняється широкою гамою кольорів, високою міцністю й морозостійкістю. Очевидно, що ринок таких керамічних виробів і в подаль-